

Концепция оценки частичных разрядов

КИНШТ Н.В., ПЕТРУНЬКО Н.Н.

Анализируются методологические аспекты исследования частичных разрядов (ЧР) в высоковольтном оборудовании и проблема множественных ЧР. При осмысливании сложной картины ЧР возникает вопрос о количестве источников ЧР, инициирующих эту сложную картину. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 55191-2012, так же как и международный стандарт МЭК 60270:2000, декларируя методы измерений частичных разрядов, игнорируют вопрос об источниках ЧР как потенциальных дефектах. Рассмотрены вопросы генерирования последовательности частичных результатов (ЧР) источником, введено понятие квазидетерминированного процесса ЧР. Ставится и решается задача различения множества дефектов в изоляции на основе множества ЧР, порожденных этими дефектами. Предлагается разработать предложения к поправкам к упомянутым стандартам ГОСТ и МЭК.

Ключевые слова: высоковольтное оборудование, изоляция, частичные разряды, исследование

Традиционная концепция частичных разрядов.

Техническое состояние элементов силового высоковольтного трансформаторного электрооборудования в наибольшей степени определяется состоянием его изоляции, связанного с наличием, интенсивностью и распределением частичных электрических разрядов, возникающих как при его нормальной работе, так и при деградации изоляции и других конструктивных элементов. Общие принципы измерений частичного разряда в составе высоковольтных испытаний приведены в национальном стандарте [1] и соответствующем международном стандарте [2]. Одним из главных нормативных параметров считается «кажущийся заряд»; это понятие и способы его измерения зафиксированы национальными и международными стандартами. Модель кажущегося заряда создает иллюзию технической простоты и правильности. Она неявно полагается на предположение об однородности электрического поля, единственности потенциального дефекта и информации о его местоположении.

Можно сказать, что методы диагностики, основанные на «кажущемся заряде», в простых случаях удовлетворяют потребности практики. Вместе с тем, несмотря на то, что исследования ЧР ведутся более 80 лет, с развитием методов и приборов контроля и мониторинга в последнее время наблюдается повышенный интерес к этой проблеме, поскольку ЧР являются первичным электрофизическим процессом, определяющим техническое состояние изоляции. Высококвалифицированные специалисты констатируют, что в области интерпретации результатов наблюдения ЧР до сих пор нет достаточной ясности [3].

В ГОСТ частичный разряд (ЧР) определяется как «электрический разряд, который шунтирует лишь часть изоляции между электродами, находящимися под разными потенциалами» (определе-

ние 3.1). Стандарт МЭК определяет ЧР аналогично: «partial discharge (PD) localized electrical discharge that only partially bridges the insulation between conductors and which can or can not occur adjacent to a conductor».

А теперь обратимся к целеполаганию этих стандартов. Так, в общих положениях читаем: «Характеристики частичных разрядов измеряются для:

определения отсутствия частичных разрядов в изоляции испытуемого объекта при нормированном напряжении, интенсивность которых равна или выше нормированного значения;

определения характеристик частичных разрядов и их интенсивности при нормированном напряжении;

определения напряжения возникновения и напряжения затухания частичных разрядов».

То же самое из стандарта МЭК:

«The main objective can be subdivided in two sub-objectives:

the recording, storage and evaluation of at least one or more of the PD pulses related quantities;

the post-processing of the recorded data to evaluate and to display additional parameters and dependencies».

Обращает на себя внимание, что эти определения в значительной степени носят академический характер и даже содержат в себе элемент тавтологии («характеристики ЧР измеряются для ... определения характеристик ЧР»...). Они неконструктивны, так как не ориентированы на явно задекларированную практическую полезную цель. Это принципиально потому, что нас интересует ЧР не как некое электрофизическое явление, а как проявление дефектов (потенциальных) высоковольтного устройства. Авторы статьи не ставят задачей полемику относительно декларируемых в ГОСТ терминов и формулировок. Однако предлагаемый ГОСТ

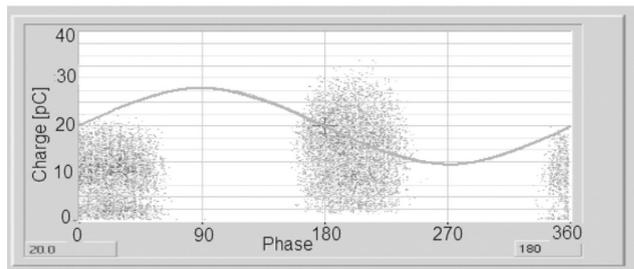
комплект понятий не позволяет ставить и решать целый ряд задач, связанных с множественностью и разновременностью ЧР.

Множество ЧР и множество источников ЧР. В этом контексте можно было бы сформулировать, что исследование ЧР нацелено на оценку технического состояния высоковольтного оборудования, а более точно, целью является поиск дефектов (потенциальных), которые являются источниками ЧР, и оценка их опасности с точки зрения дальнейшей эксплуатации оборудования. Однако обратим внимание, что выражение «источник ЧР» (или его эквивалент) вообще не встречается в текстах ГОСТ и МЭК. Существуют выражения: «источник напряжения», «источники ошибок», «источники помех», но не «источник ЧР» (лишь одно упоминание: «влажность и загрязнение изолирующих поверхностей могут стать источником частичных разрядов»). Понятие «ЧР» и «дефект» в некотором смысле синонимы, когда речь идет о единственном ЧР, но когда (потенциальных) дефектов несколько (или много), места их расположения различны, эти понятия необходимо четко различить.

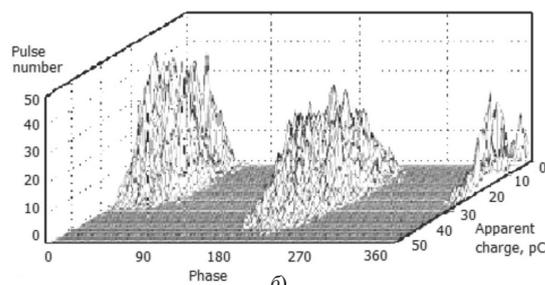
В изоляции реального высоковольтного устройства под рабочим напряжением генерируется множество частичных разрядов. Интегральная картина ЧР может быть достаточно сложной. Ее изображение может представляться трехмерной функцией множества импульсов ЧР в координатах: время — кажущийся заряд — частота повторения импульсов (рис. 1).

Существует достаточное число методологий, рекомендаций и нормативных документов (например, руководства по использованию различных технических средств измерения и контроля) для интерпретации этой модели, чтобы получить некоторые осмысленные предположения об источниках ЧР или количественных оценках опасности этих явлений. Такие методы, как правило, не учитывают некоторые исходные положения. Так, если в качестве основного критерия предполагается максимум импульса среди всех ЧР, то здесь неявно предполагается, что источников ЧР много, но все они несущественны по сравнению с «максимальным». Если же все множество кажущихся зарядов интегрируется, то неявно предполагается, что все они порождены одним дефектом; то же можно сказать об обработке серии ЧР. А что же имеет место на самом деле? Такая задача может быть кратко сформулирована следующими вопросами: сколько всего ЧР импульсов? и сколько всего ЧР-источников отражает эта интегральная картина?

Сформулируем *простейшую задачу*. Предположим, что серия M приблизительно равных ЧР импульсов регистрируется в течение времени наблюдения, например, в течение периода рабочего на-



а)



б)

Рис. 1. Пример функции множества импульсов ЧР

пряжения. Вопрос состоит в том, какая из трех гипотез верна:

единственный (потенциальный) дефект генерирует серию ЧР всех M импульсов;

N различных дефектов, находящихся в различных точках активного пространства изоляции, генерируют по единственному ЧР;

имеет место промежуточный вариант, и существует $N < M$ различных ЧР-источников с короткими сериями ЧР?

Понятно, что оценки реальной опасности множества ЧР в этих трех случаях существенно различаются. Решение такой *простейшей задачи* представляется ключом для проблемы анализа сложной интегральной картины ЧР.

Множественные ЧР, калибровка и измерения кажущихся зарядов. Кратко остановимся на попытке продвинуть решение задачи диагностики ЧР, следуя традиционной концепции о кажущемся заряде, его калибровке и измерении. Проанализируем полученные в [4, 5] результаты, имеющие отношение к рассматриваемой проблеме. Так, например, в трансформаторе реально существует несколько (n) потенциальных источников ЧР и имеется принципиальная возможность регистрировать их сигналы с помощью нескольких (m) регистраторов P_1, \dots, P_m . В классическом случае с единичным кажущимся зарядом и единичным ЧР используется простейшая пропорция между калибровочным приращением напряжения и зарядом, с одной стороны, и измеренным приращением напряжения и кажущимся зарядом, с другой. Переход к множеству потенциальных ЧР и множеству возможностей калибровки соответствует естественному переходу к более сложной формализации электрической схемы заме-

шения, использующей обычные методы теории электрических цепей, в том числе — модель многополюсника.

На рис. 2 источники тока J^k отражают возможности калибровки, источники J^P представляют токи ЧР. Отметим, что при формализации задачи в матричных построениях [4] параметры C_{1p} и C_{2p} для простоты исключены из рассмотрения. Схема рис. 2,б оказалась бы в принципе конструктивной диагностической моделью, если бы с ее помощью удалось перечислить все n возможных (подозреваемых) источников ЧР и задать при этом численные значения всех частичных емкостей. Однако такая ситуация нереальна. Далее, как и в [4, 5], считаем, что на основе концепции кажущегося заряда не удастся построить эффективный инструмент диагностики истинных зарядов множественных ЧР в виде достоверных и удобных эквивалентных схем либо неких интегральных параметров.

Альтернативная концепция описания источников ЧР. Перед нами стоит проблема анализа принадлежности произвольных ЧР из множества регистрируемых к отдельным источникам ЧР, а также — перечисление и классификация источников. В качестве источников ЧР выступают инородные включения в изоляции как потенциальные дефекты (далее, для краткости, определение «потенциальные» опускается). Процесс ЧР в общем случае является релаксационным, и множественность наблюдаемых ЧР обуславливается как множественностью дефектов, так и возможностью многократного повторения импульсов в виде серии ЧР в каждом из них. Для распознавания источников ЧР как дефектов и их классификации необходимо перечислить основные свойства дефектов. Обобщая публикации [6–12], формализуем перечисление параметров дефектов и принятых ограничений.

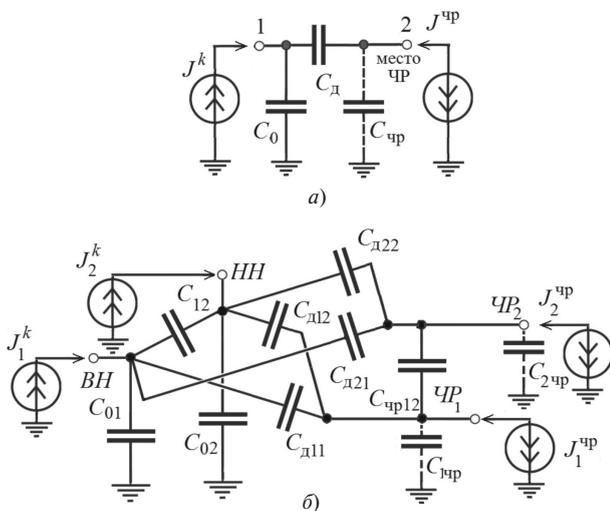


Рис 2. Обычная схема калибровки (а) и эквивалентная схема калибровки и регистрации для двух независимых ЧР и двух точек регистрации (б)

Предположим, что имеется множество дефектов N ; для серии ЧР в произвольном включении с номером $k=(1, \dots, N)$ в качестве параметров и допущений принимаются следующие данные:

- а) характерный размер включения d_k ;
- б) форма включения (в простейшем случае — сферическая);
- в) геометрические координаты включения (x_k, y_k, z_k) ;
- г) картина электрического поля в активном пространстве устройства; максимальную напряженность рабочего электрического поля в данной точке активного пространства $E_m(x_k, y_k, z_k)$, не искаженного включением, можно считать «энергетической координатой» включения.

Далее считаем, что:

- 1) рабочая напряженность внешнего электрического поля в данной точке изменяется по синусоидальному закону;
- 2) принужденная напряженность (при отсутствии ЧР) электрического поля внутри включения определяется в соответствии с формой включения и соотношением диэлектрических проницаемостей основной изоляции и внутреннего включения;
- 3) принужденное напряжение на включении $u_{прк}$ зависит от размера включения и принужденной напряженности электрического поля и имеет вид:

$$u_{прк} = U_{mk} \sin(\omega t); \tag{1}$$

- 4) напряжение зажигания ЧР во включении $U_{зк}$ определяется по закону Пашена либо на основе справочных данных;
- 5) напряжение погасания разряда $U_{пк}$ связано с поляризационными параметрами изоляции и ВАХ разряда [8];
- 6) истинный заряд Q_k может быть оценен на основе размера включения и диэлектрической проницаемости его материала [4];
- 7) поскольку процесс ЧР представляет собой релаксационный процесс заряда изоляции и разряда его через включение, добавляется в качестве параметра начальное условие U_{0k} ;

дополнительно (для простоты) предположим, что:

- 8) время процесса разряда единичного ЧР существенно меньше периода рабочего напряжения;
- 9) значения напряжения зажигания и погасания не изменяются во время релаксационного процесса ЧР;
- 10) внешнее электрическое поле восстанавливается до принужденного значения практически мгновенно после погасания разряда.

Таким образом, каждое k -е включение однозначно ассоциируется с многими параметрами $\{U_{mk}, U_{зк}, U_{пк}, U_{0k}\}$ [9,10]. Введением в рассмотрение этих напряжений индивидуализируется де-

фekt. В первых трех параметрах косвенно проявляются себя размер включения и его форма, геометрические координаты, структура рабочего поля в заданной точке активной области высоковольтного устройства, диэлектрические свойства основной изоляции и включения, поляризационные параметры изоляции, а также свойства вольт-амперной характеристики частичного разряда. Начальное условие U_{0k} является случайным значением и находится в пределах: $U_{3k} > U_{0k} > -U_{3k}$. Перечисленные ранее параметры, ограничения и предположения в совокупности назовем квазидетерминированной моделью ЧР. В целом эта модель не противоречит здравому смыслу и знаниям, накопленным при изучении феномена ЧР.

Функции, характеризующие квазидетерминированный процесс ЧР. Каждая функция реального напряжения на включении $u_k(\omega t)$ на интервале наблюдения $[0, T_H]$ представляет собой релаксационный процесс заряда и разряда изоляции в окрестности включения и имеет специфический вид (рис. 3,а). Функция $u_k(\omega t)$ может быть легко рассчитана на основе параметров квазидетерминированной модели; формализованный алгоритм расчета изложен, например, в [9, 10]. Каждый единичный j -й ЧР в серии k -го включения возникает в момент времени t_{kj} и создает экспоненциальный импульс тока с амплитудой I_{kj} , и он продолжается в течение времени τ_p (рис. 3,а). Ток ЧР представляет собой серию импульсов (для простоты импульсы приняты однополярными):

$$i_k = \sum_{j=1}^{n_k} i_{kj} = |I_k| \sum_{j=1}^{n_k} \exp((t-t_{kj})/\tau) \times [1(t-t_{kj}) - 1(t-t_{kj}-\tau_p)], \quad (2)$$

где I_3 – начальное значение тока зажигания ЧР; n_k – число импульсов в k -й серии; τ – постоянная времени разряда; $1(t)$ – функция единичного скачка.

Зависимости процесса от параметров $\{U_{mk}, U_{3k}, U_{pk}, U_{0k}\}$ приведены на рис. 3. При увеличении принужденного напряжения U_{mk} увеличивается число импульсов (рис. 3,б), уменьшение напряжения U_{pk} уменьшает число последовательных импульсов (рис. 3,в) и изменение начального условия U_{0k} приводит к сдвигу (нелинейному) всей серии импульсов.

Итак, если бы были заданы параметры дефектов $\{U_{mk}, U_{3k}, U_{pk}, U_{0k}\}$, $k=(1, \dots, N)$, то в рамках квазидетерминированной модели ЧР проблема расчета всего множества ЧР решается однозначно.

Интерпретация интегральной картины ЧР. Общий вид множества (интегральной картины) зарегистрированных ЧР может представить в виде суммы ЧР от всего множества источников:

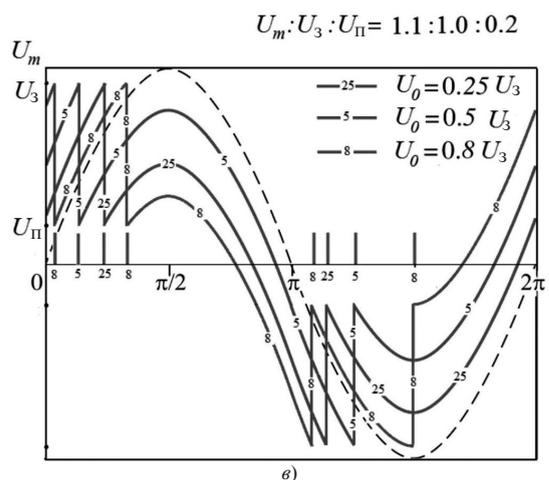
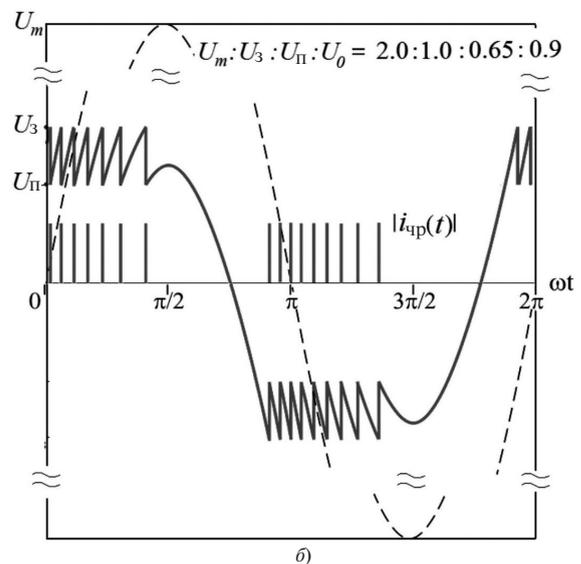
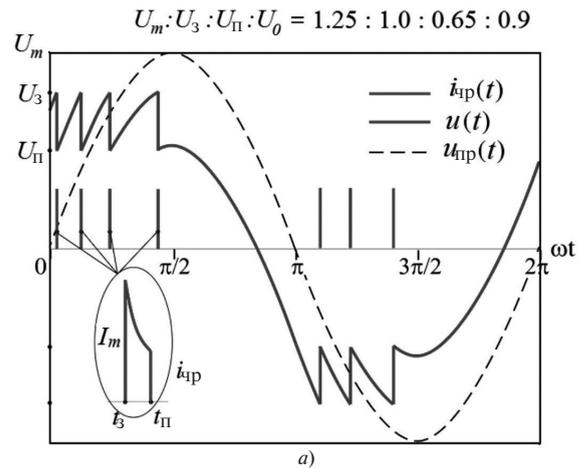


Рис. 3. Пример квазидетерминированного процесса ЧР: а – общий вид; б – влияние увеличения принужденного напряжения; в – вариация начального условия

$$I_{\text{пер}}(t) = \sum_{k=1}^N h_k i_k(t) = \sum_{k=1}^N h_k i_k(I_k(t_{kj})), \quad j=1, \dots, n_k, \quad (3)$$

где коэффициенты h_k характеризуют затухание сигналов от импульсов ЧР на пути распространения дефект – система мониторинга.

Визуально эту картину можно представить, например, в виде рис. 4.

Поскольку коэффициенты затухания неизвестны, то амплитуды импульсов ЧР токов от отдельных источников неинформативны. Задача диагностики состоит в том, чтобы разделить эту сложную картину на фрагменты, которые соответствуют отдельным источникам ЧР. Самое простое решение состоит в селекции импульсов по амплитуде. Однако, если рассматривать последовательность ЧР примерно равной амплитуды, то необходимо вернуться к задаче, сформулированной ранее. Инвариантами последовательностей ЧР, ассоциированными с отдельными дефектами, остаются множества моментов времени элементарных ЧР $\{t_{kj}\}$ ($j=1, \dots, n_k, k=1, \dots, N$) на интервале наблюдения процесса $[0, T_H]$.

Назовем множество моментов времени $T_k = \{t_{kj}\}$ *правильной* последовательностью, если она соответствует некоторой последовательности импульсов ЧР. Нетрудно показать, что не всякая последовательность $\{t_s\}$ является *правильной*. Поскольку множество параметров – напряжений $\{U_{mk}, U_{zk}, U_{pk}, U_{ok}\}$ – алгоритмически однозначно генерирует последовательность T_k , то можно ввести в рассмотрение концепцию ЧР-преобразования, назвав его **PDT**:

$$T_k = \text{PDT}(U_{mk}, U_{zk}, U_{pk}, U_{ok}).$$

ЧР-преобразование инвариантно относительно абсолютных значений всех упомянутых напряжений, и для простоты можно оперировать лишь с их относительными значениями:

$$\begin{aligned} T_k &= \text{PDT}(U_{mk}, U_{zk}, U_{pk}, U_{ok}) = \\ &= \text{PDT}(U_{mk}^*, U_{zk}^*, U_{pk}^*, U_{ok}^*). \end{aligned} \quad (4)$$

Приняв в качестве базисного значения напряжения зажигания ЧР, можно записать:

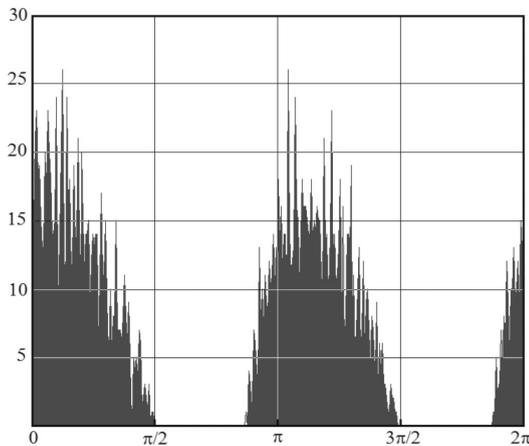


Рис. 4. Пример интегральной картины ЧР в координатах: амплитуда зарегистрированного тока ЧР – безразмерное время (интервал наблюдения ЧР – один период рабочего напряжения)

$$(U_{mk}^*, 1, U_{pk}^*, U_{ok}^*) \text{PDT}^{-1}(T_k).$$

Иначе, имея *правильную* последовательность, состоящую, по крайней мере, из трех элементарных ЧР, можно получить относительные значения энергетической координаты (близости ЧР к области максимальной напряженности) U_{mk}^* , информацию о длительности горения ЧР U_{pk}^* и вспомогательное значение – начальное условие U_{ok}^* .

Полученные результаты можно сформулировать в виде Леммы:

1. Для всякой тройки относительных напряжений $(U_m^*, 1, U_p^*, U_o^*)$, $U_m^* > 1, 1 > U_e^* > 0, |U_o^*| < 0$, возможно ЧР-преобразование $\text{PDT}(U_{mk}^*, 1, U_{pk}^*, U_{ok}^*) = T_k$ и оно генерирует *правильную* ЧР-последовательность.

2. Не всякая последовательность $T_s \in T_H$ является *правильной*, т.е. не для всякой последовательности T_s возможно обратное ЧР-преобразование.

Пункт 1 Леммы доказывается алгоритмически; для п. 2 Леммы достаточно опровергающего примера. Так, нетрудно показать, что множество $\omega T = \{25^\circ, 88^\circ, 89^\circ\}$, ($\omega T_H = [0, 90^\circ]$) не является *правильным*.

Теперь можно сформулировать решение задачи диагностики источников множественных ЧР.

Допустим зарегистрирована последовательность импульсов токов ЧР с примерно одинаковыми амплитудами на множестве моментов времени T_0 ($|T_0| = M$). Как и ранее, задаемся вопросом: сколько источников ЧР отражает эта интегральная картина?

Ответ на этот вопрос дает п. 2 Леммы. Например, теоретически возможно устроить полный перебор точек (с подходящей для точности дискретностью) в трехмерном пространстве параметров $\{U_m^*, U_p^*, U_o^*\}$ и получить дискретное множество всех *правильных* последовательностей $\{T_s\}$. *Правильные* последовательности можно упорядочить по длине и, начиная с самых длинных, применить следующий алгоритм.

Первичный анализ. 1-я итерация. Находится какая-либо последовательность T_s , являющаяся подмножеством T_0 , фиксируются параметры $(U_{ms}^*, U_{ps}^*, U_{os}^*)$ и «длина» последовательности n_s :

$$(U_{ms}^*, U_{ps}^*, U_{os}^*) \text{PDT}^{-1}(T_s),$$

и она исключается из полного множества T_0 : $T_{01} = T_0 \setminus T_s$.

Проверяется условие $T_{01} = \emptyset$: если да, то анализ закончен.

Итерация k -я. Находим какую-либо последовательность T_s , являющуюся подмножеством $T_{0(k-1)}$, фиксируем параметры и исключаем ее элементы из дальнейшего рассмотрения:

$$(U_{ms}^*, U_{ps}^*, U_{0s}^*) \text{PDT}^{-1}(T_s);$$

$$T_{0k} = T_{0(k-1)} \setminus T_s.$$

Проверяется условие $T_{0k} = \emptyset$: если да, то предварительный анализ закончен.

Промежуточный анализ. После первичного анализа в остатке могут оказаться потенциальные последовательности длиной в один и два импульса. Повторяем процедуру предварительного анализа, выбирая из множества всех правильных последовательностей $\{T_s\}$ подмножества длиной в два импульса.

Окончательный анализ. После промежуточного анализа могут остаться исключительно одиночные импульсы. Объединяя результаты всех трех этапов анализа, получаем правдоподобное решение Задачи. Разбиение множества T_0 предстанет в виде покрытия:

$$T_0 = \cup T_k, \quad k=1, \dots, N.$$

На изложенных принципах основан способ контроля технического состояния элементов высоковольтного оборудования [13], включающий в себя регистрацию интегральной картины ЧР в них в течение не менее одного периода рабочего напряжения с точностью, обеспечивающей распознавание отдельных ЧР и дальнейшую оценку количества и параметров источников ЧР как потенциальных дефектов изоляции элемента оборудования.

Рассмотрим простейшую энергетическую оценку для некоторого k -го источника ЧР:

$$q_k = \tau_k I_{zk} \text{ — истинный заряд } k\text{-го источника;}$$

$$q_{pk} = \tau_k I_{pk} \text{ — остаточный заряд } k\text{-го источника.}$$

Считая, что $I_{zk} : I_{pk} = U_{zk} : U_{pk} = U_{pk}^*$, получим значение тока на интервале наблюдения:

$$I_k = (q_k - q_{pk}) n_k / T_0 = I_{zk} n_k \frac{\tau_k}{T_0} (1 - U_{pk}^*).$$

Оценка опасности ЧР связана с квадратичной характеристикой, т.е. с их энергетическим воздействием, так что $I_k^2 \sim I_{zk}^2 n_k^2$, и выявление источников подмножеств ЧР снижает общую энергетическую оценку опасности всех наблюдаемых ЧР в совокупности, поскольку $\sum_{k=1}^N n_k^2 \leq N_0^1$ ($\sum_{k=1}^N n_k = N_0$)

для любого разбиения N_0 на фрагменты n_k .

Таким образом, если есть основания считать, что множество регистрируемых ЧР порождено множеством источников и не выявлять эти источники, оценки опасности интегральной картины ЧР оказываются заведомо завышенными.

Выводы. 1. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 55191—2012, так же как и международный стандарт МЭК 60270:2000, декларируя методы измерений частичных разрядов, игнорирует вопрос об источниках ЧР как потенциальных дефектах. При наличии множественных разрядов следует различать множество дефектов (потенциальных) в изоляции и множество ЧР, порожденных этими дефектами.

2. Применение идеи кажущегося заряда к случаю множественных зарядов представляется непродуктивным.

3. Введение модели процесса ЧР как квазидетерминированного процесса позволяет развить теорию ЧР в направлении дифференциации отдельных источников ЧР, характеризуя эти источники набором потенциально измеримых параметров.

4. Введена идея ЧР-преобразования, однозначно связывающего параметры источника ЧР с последовательностью моментов времени серии ЧР. Теория и алгоритмы обратного преобразования ЧР нуждаются в дальнейших исследованиях.

5. Необходимо разработать предложения (поправки) к стандартам ГОСТ Р 55191—2012 и МЭК 60270:2000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р 55191-2012 (МЭК 60270:2000). Национальный стандарт РФ. Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов. — М.: Росстандарт, 2012. Дата введения 2014-01-01.
- International IEC Standard 60270—2000. High-voltage test techniques — Partial discharge measurements.
- Овсянников А.Г. Недомолвки в теории и недостатки в практике регистрации частичных разрядов. — Доклад на 12-й ежегодной конф. «Методы и средства контроля изоляции высоковольтного оборудования», Пермь, 26—27 февраля 2015 г.: <http://dimrus.ru/conf2015.html>
- Киншт Н.В., Петрунько Н.Н. Об оценке параметров частичных разрядов. — Электричество, 2016, № 7, с. 51—56.
- Kinsht N.V., Petrunko N.N. Theoretical and Experimental Problems of the PD Parameters Estimation — Proc. of the 9th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, (ELEKTROENERGETIKA 2017), 12—14 September 2017, Stara Lesna (Slovakia), pp. 274—278.
- Кац М.А., Киншт Н.В. Факторы неопределенности при анализе частичных разрядов в высоковольтном оборудовании. — Сб. докл. Международного VI симпозиума «Электротехника 2010», 22—25 октября 2001, Моск. обл., с. 216—218.
- Kinsht N.V., Katz M.A. Some Problems of the Partial Discharge Burning Time. — TEEM, 2006, vol. 7, No. 6, pp. 319—323.
- Кац М.А., Киншт Н.В. К анализу переходного процесса в несовершенном диэлектрике с нелинейной неоднородностью. — Электричество, 2006, № 11, с. 65—68.
- Kinsht N.V., Petrunko N.N. Some Possibility of Constructing of the PD Processes Quasi-Deterministic Model. — International

Conf. on Condition Monitoring and Diagnosis 2014 (CMD2014), 21–25 September 2014, Jeju (Korea), pp. 371–374.

10. **Киншт Н.В., Петрунко Н.Н.** Закономерности формирования интегральной картины частичных разрядов как множества квазидетерминированных процессов. — Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2015, № 4 с. 14–20.

11. **Kinsht N.V., Petrunko N.N.** Regularities of the Formation an Integrated Partial Discharges Picture as a set of Quasideterministic Processes. — Proc. of the 8th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering (ELEKTROENERGETIKA 2015), 16–18 September 2015, Starb Lesnб (Slovakia). — 612, pp. 315–318.

12. **Патент РФ No. 2604578.** Способ контроля технического состояния элементов высоковольтного оборудования/Н.В. Киншт, Н.Н. Петрунко. — БИ, 2016, № 34.

[16.11.2017]

А в т о р ы: **Киншт Николай Владимирович** окончил Новосибирский электротехнический институт (НЭТИ) в 1960 г. В 1986 г. в Московском энергетическом институте защитил докторскую диссертацию «Диагностика электрических цепей. Теория и методы». Главный научный сотрудник Института автоматики и процессов управления (ИАПУ) ДВО РАН. Профессор ДВФУ.

Петрунко Наталья Николаевна окончила физический факультет Дальневосточного государственного университета в 1985 г. В 2002 г. в ИАПУ ДВО РАН защитила кандидатскую диссертацию «Анализ процессов образования и распространения электромагнитных излучений высоковольтного электроэнергетического оборудования». Старший научный сотрудник ИАПУ ДВО РАН.

Elektrichestvo (Electricity), 2018, No. 2, pp. 27–33

DOI:10.24160/0013-5380-2018-2-27-33

A Partial Discharge Assessment Concept

KINSHI Nikolai V. (*The Institute of Automation and Control Processes (IACP), Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (FEB RAS), Vladivostok, Russia*) — Chief scientific researcher, Professor, Dr.Sci. (Eng.)

PETRUNKO Natalia N. (*IACP, FEB RAS, Vladivostok, Russia*) — Senior Scientific researcher

The article deals with the methodological aspects of studying partial discharges (PDs) and with the problem of multiple PDs in high-voltage equipment. A person wishing to get an idea about the intricate PD picture faces the question about the number of PD sources initiating this intricate picture. While declaring the partial discharge measurement methods, the Russian Federation's national standard GOST R 55191-2012 and the international standard IEC 60270:2000 ignore the question about the PD sources as potential defects. The article considers matters concerned with generating a sequence of PDs by a source and introduces the notion of a quasi deterministic PD process. The problem of discriminating the totality of defects in insulation based on the totality of PDs stemming from these defects is formulated and solved. It is suggested to develop proposals on amendments to the above-mentioned GOST and IEC standards.

Key words: *high-voltage equipment, insulation, partial discharges, investigation*

REFERENCES

1. **GOST R 55191-2012** (MEK 60270:2000). *Natsional'nyi standart RF. Metody ispytaniy vysokim napryazheniyem. Izmereniya chastichnykh razryadov. Rosstandart, 2012. Data vvedeniya 2014-01-01* (GOST R 55191-2012 (IEC 60270:2000). The national standard of the Russian Federation. Methods of testing with high voltage. Partial discharge measurements. — Moscow: Rosstandart, 2012. Date introduced: 2014-01-01).

2. **International IEC Standard 60270-2000.** High-voltage test techniques — Partial discharge measurements.

3. **Ovsyannikov A.G.** Report on the 12 th annual conference «Methods and means of monitoring the insulation of high voltage equipment», Perm, 26–27 February 2015): <http://dimrus.ru/conf2015.html>

4. **Kinsht N.V., Petrun'ko N.N.** *Elektrichestvo — in Russ. (Electricity)*, 2016, No. 7, pp. 51–56.

5. **Kinsht N.V., Petrunko N.N.** Theoretical and Experimental Problems of the PD Parameters Estimation. — Proc. of the 9th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering (ELEKTROENERGETIKA 2017), 12–14 September, 2017, Stara Lesna (Slovakia), pp. 274–278.

6. **Katz M.A., Kinsht N.V.** Sb. dokladov Mezhdunarodnogo VI simpoziuma «Elektrotehnika 2010» (Coll. rep. VI International

Symposium «Electronics 2010»). Mosk. Region, 22–25 October 2001, pp. 216–218.

7. **Kinsht N.V., Katz M.A.** Some Problems of the Partial Discharge Burning Time. — TEEM, 2006, vol. 7, No. 6, pp. 319–323.

8. **Katz M.A., Kinsht N.V.** *Elektrichestvo — in Russ. (Electricity)*, 2006, No.11, pp. 65–68.

9. **Kinsht N.V., Petrunko N.N.** Some Possibility of Constructing of the PD Processes Quasi-Deterministic Model. — International Conf. on Condition Monitoring and Diagnosis 2014 (CMD2014), 21–25 September 2014, Jeju (Korea), pp. 371–374.

10. **Kinsht N.V., Petrun'ko N.N.** *Elektro — in Russ. (Electro)*, 2015, No. 4, pp. 14–20.

11. **Kinsht N.V., Petrunko N.N.** Regularities of the Formation an Integrated Partial Discharges Picture as a set of Quasideterministic Processes. — Proc. of the 8th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering (ELEKTROENERGETIKA 2015), 16–18 September 2015, Starb Lesnб (Slovakia), pp. 315–318.

12. **Pat. 2604578 RF,** A method for monitoring the technical condition of high-voltage equipment/N.V. Kinsht, N.N. Petrunko. Bulletin of inventions, 2016, No. 34.

[16.11.2017]